

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号  
特表2000-517473  
(P2000-517473A)

(43) 公表日 平成12年12月26日 (2000. 12. 26)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 1 L 21/66		H 0 1 L 21/66	Z
21/00		21/00	

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 41 頁)

(21) 出願番号 特願平9-521243  
(86) (22) 出願日 平成8年9月27日 (1996. 9. 27)  
(85) 翻訳文提出日 平成10年6月4日 (1998. 6. 4)  
(86) 国際出願番号 PCT/US 96/15511  
(87) 国際公開番号 WO 97/21244  
(87) 国際公開日 平成9年6月12日 (1997. 6. 12)  
(31) 優先権主張番号 08/566, 529  
(32) 優先日 平成7年12月4日 (1995. 12. 4)  
(33) 優先権主張国 米国 (US)  
(81) 指定国 EP (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), JP, KR

(71) 出願人 アドバンスド・マイクロ・ディバイス・インコーポレイテッド  
アメリカ合衆国、94088-3453 カリフォルニア州、サニペイル、ワン・エイ・エム・ディ・プレイス、メイル・ストップ・68 (番地なし)  
(72) 発明者 チェン、ミン・チュン  
アメリカ合衆国、95035 カリフォルニア州、ミルピタス、ソノマ・ドライブ、1517  
(74) 代理人 弁理士 深見 久郎 (外3名)

(54) 【発明の名称】 単一ステップフィードバックによる統計的シミュレーションを用いて製造プロセスを監視かつ分析するためのシステム

(57) 【要約】

半導体製造プロセスの統計的シミュレーションは実際のプロセスと並行して実行される。確率密度関数から得られる入力パラメータはシミュレータに与えられ、シミュレータは今度は、確率密度関数の形で表わされる実際の製造プロセスをシミュレートする。各シミュレーションステップは、繰返し計算をして問題の最良の解を定める試行錯誤の方法であるモンテ・カルロ法を用いて、ランダムシード値を使って繰返される。シミュレータは確率分布の形態で出力を生成する。統計的シミュレーションは、単一ステップフィードバックを用い、そこではシミュレーションランにおいて実際のインライン測定データから供給される、または得られる入力パラメータが利用される。シミュレータによって生成される中間出力構造データおよびWETデータの双方の出力データは、測定データが入手可能である状況においては実際のインライン測定データと一致させられる。シミュレータの確率密度構造は各シミュレーションステップの後に調整され、シミュレーションされたデータがインライン測定データとより厳密に一致するようにする。

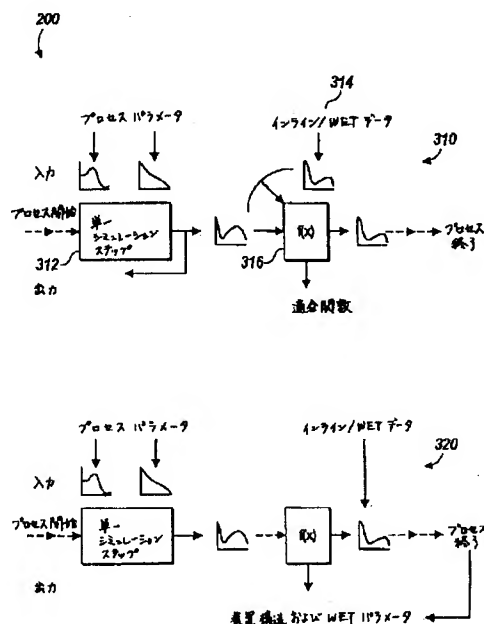


FIG. 3

【特許請求の範囲】

1. 製造監視システムであって、

ワークピースに適用される製造プロセスステップを行なうための製造装置と、  
前記ワークピースから感知されるプロセステストパラメータのサンプルを得るためのテスト装置と、

前記テスト装置に結合され、前記プロセステストパラメータのサンプルを受取るコンピュータと、

コンピュータシステムにおいて動作可能であるソフトウェアプログラムとを含み、前記ソフトウェアプログラムは複数のルーチンを有し、前記ルーチンは

前記プロセステストパラメータのサンプルを受取るためのルーチンと、

前記製造プロセスステップに対応するシミュレートされた製造プロセスステップをシミュレートして、複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するためのルーチンと、

前記シミュレートされた製造プロセス結果を示すシミュレートされたプロファイルを生成するためのルーチンとを含む、システム。

2. 前記ソフトウェアプログラムは

ランダムシード値を用いてシミュレーション結果を繰返し更新するためのモンテ・カルロ・シミュレーションルーチンをさらに含む、請求項1に記載のシステム。

3. 前記ソフトウェアプログラムは

複数のプロセステストパラメータのサンプルをプロセスデータプロファイルにフォーマット化するためのルーチンと、

前記プロセスデータプロファイルを前記シミュレートされたプロファイルと一致させるためのルーチンとをさらに含む、請求項1に記載のシステム。

4. 前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するためのルーチンは、半導体製造プロセスの統計的シミュレーションであり、前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するためのルーチンは

実際の製造プロセスパラメータからシミュレーションへの入力パラメータを得るためのサブルーチンをさらに含み、前記入力パラメータは確率密度関数から得

られ、前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するためのルーチンはさらに

実際の製造プロセスをシミュレートするためのサブルーチンを含み、前記実際の製造プロセスは確率密度関数の形で表わされる、請求項 1 に記載のシステム。

5. 前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するためのルーチンは、前記製造プロセスステップと並行して行なわれる、請求項 4 に記載のシステム。

6. 前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するためのルーチンは、半導体製造プロセスの統計的シミュレーションであり、前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するためのルーチンはさらに

複数のシミュレーションステップを繰返すためのサブルーチンを含み、繰返されるステップでは、モンテ・カルロ法を用いて変化させられる変化のあるランダムシード値が適用される、請求項 4 に記載のシステム。

7. 前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するためのルーチンは、半導体製造プロセスの統計的シミュレーションであり、前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するためのルーチンは

複数のシミュレーションステップのうちのシミュレーションステップで、実際のインライン測定データから供給される入力パラメータが用いられ出力データが生成される単一ステップフィードバックを用いるシミュレーションループルーチンと、

前記シミュレーションステップにより生成される出力データを実際のインライン測定データに対して一致させるためのサブルーチンと、

各シミュレータステップの後にシミュレータの確率密度構造を調整し、前記シミュレートされたデータが前記実際のインライン測定データとより厳密に一致するようにするためのサブルーチンとをさらに含む、請求項 4 に記載のシステム。

8. 製造プロセスを監視する方法であって

ワークピースに適用される製造プロセスステップを行なうステップと、

前記ワークピースから感知されるプロセステストパラメータのサンプルを得るステップと、

前記製造プロセスステップに対応するシミュレートされた製造プロセスステップをシミュレートし、複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するステップと、

前記シミュレートされた製造プロセス結果を示すシミュレートされたプロファイルを生成するステップとを含む、方法。

9. 前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するステップはさらに

ランダムシード値を用いてシミュレーション結果を繰返し更新するためのモンテ・カルロ・シミュレーションルーチンを行なうステップを含む、請求項8に記載の方法。

10. 複数のプロセステストパラメータのサンプルをプロセスデータプロファイルにフォーマット化するステップと、

前記プロセスデータプロファイルを前記シミュレートされたプロファイルと一致させるステップとをさらに含む、請求項8に記載の方法。

11. 前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するステップは、半導体製造プロセスの統計的シミュレーションステップであり、前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するステップはさらに

実際の製造プロセスパラメータからシミュレーションへの入力パラメータを得るステップを含み、前記入力パラメータは確率密度関数から得られ、前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するステップはさらに

実際の製造プロセスをシミュレートするステップを含み、前記実際の製造プロセスは確率密度関数の形で表わされる、請求項8に記載の方法。

12. 前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するステップは前記製造プロセスステップと並行して行なわれる、請求項11に記載の方法。

13. 前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するステップは半導体製造プロセスの統計的シミュレーションであり、前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するステップはさらに

複数のシミュレーションステップを繰返すステップを含み、繰返されるステップでは、モンテ・カルロ法を用いて変化させられる変化のあるランダムシード値

が適用される、請求項 11 に記載の方法。

14. 前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するステップは半導体製造プロセスの統計的シミュレーションであり、前記複数のシミュレートされた製造プロセス結果を生成するステップはさらに

複数のシミュレーションステップの内のシミュレーションステップで、実際のインライン測定データから供給される入力パラメータが用いられ出力データが生成される単一ステップフィードバックを用いて、シミュレーションループを通してループするステップと、

前記シミュレーションステップにより生成される出力データを実際のインライン測定データに対して一致させるステップと、

各シミュレーションステップの後にシミュレータの確率密度構造を調整し、前記シミュレートされたデータが前記実際のインライン測定データとより厳密に一致するようにするステップとを含む、請求項 11 に記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

単一ステップフィードバックによる統計的シミュレーションを用いて  
製造プロセスを監視かつ分析するためのシステム

### 発明の分野

この発明は、集積回路製造プロセスなどの製造プロセスに関する。より特定の  
には、この発明は製造プロセスを分析し、かつ監視するためのフィードバックシ  
ステムに関する。

### 発明の背景

プロセスシミュレーションは、プロセス現象を表わすように作られた数学的モ  
デルにより指示されるように、典型的にはコンピュータを用いて実験を処理する  
使用法である。プロセス統合および装置開発を助けるために数多くのシミュレー  
ションおよび分析ツール（たとえば、Pisces、Medici、Suprem3、Suprem4、PbFa  
bなど）が開発されてきた。これらのツールは集積回路製造に関してはさほど幅  
広く用いられていない。一般的に、これらのツールは主に研究および開発の目的  
のために開発されたものであり、製造環境において起こるさまざまな困難に十分  
対応していない。

一般的に、製造環境に当てはまるいくつかの特徴があり、製造環境をプロセス  
統合および装置開発環境とは異なるものとして特徴付けている。製造環境の特徴  
の1つは、プロセスの測定可能な局面が根本的に決定論的な性質ではなく統計学  
的な性質を有することである。プロセス変形および測定誤差は製造プロセスに固  
有のものであり、そのため製造環境において測定されるほぼすべてのデータは統  
計的なものである。通常、製造プロセスの各段階における各装置に関する正確な  
測定値は得られないため、そのプロセスに関する決断を正当なものとするのに単  
一のデータポイントでは不十分である。たとえば、入力パラメータAおよびBを  
製造プロセスに適用すると出力変数Cが生じることがわかっている場合、本当に  
わかっていることは、入力パラメータAおよびBの各々の有する統計的プロファ

イルが製造プロセスにおいて組合されると図1に示される統計的プロファイルC  
を生じることである。製造環境において入手可能な最も有効な情報とは、

そのプロセスから生じる統計的プロファイルの形態である。残念なことに、製造環境において利用されるほとんどすべての情報も製造ツールへのすべての入力パラメータも、統計的プロファイルではなく一価パラメータの形態で表わされる。

従来のシミュレーションおよび分析ツールは、製造プロセスの統計学的性質に適切に対応していないばかりではなく、入手可能である広範囲のプロセス変数、インライン測定値およびウェハ電気テスト（WET）データ測定値を利用する能力に欠けている。WETテストには、ボンディングの前にウェハレベルで測定されるしきい値電圧および駆動電流を含むさまざまな装置の電气的パラメータのテストが含まれる。研究および開発のために設計された従来のシミュレーションおよび分析ツールは一般的に、製造プロセスが実際の製造にはまだ動作可能ではないことを仮定している。そのため、これらの従来のシミュレーションおよび分析ツールは、製造技術者がプロセスの最適化を行なうには十分な柔軟性がない。特に、これらの従来のツールでは、製造技術者が製造プロセスにおいて得られる広範囲の統計的データを利用してシミュレーションモデルを最適化することができない。さらに、経験的アプローチまたは分析的アプローチのいずれかを用いるシミュレーションツールでは、モデルに適合したパラメータには実際の製造プロセスから得られる広範囲のデータに匹敵するだけの十分な自由度がない。

製造環境の別の特徴は、製造プロセスの監視およびこれらのプロセスの改善は微調整していくプロセスであることである。調整するステップの各々は、プロセス変数のわずかな差を測定することを含み、これらの差は、少なくとも一部分は統計的変動に帰することができ、また、さまざまなプロセスパラメータが変更されるにつれてのプロセスの複数の反応同士の複雑な相互作用にも帰することができる。プロセス結果は典型的に正確に測定するのが難しい。多数の非常に変化しやすいファクタがプロセス結果に影響を及ぼす。単一のファクタを他のファクタから隔離して変更することは困難である。この困難が生じるのは、ファクタのプロセスに対する影響についてわかっていることが限られているからだけでなく、さまざまなファクタが複雑な相関的な相互効果および相互作用を引起こすためである。

そのため、生産技術者が確信を持って用いるためのシミュレーションおよ

び分析ツールは、データの測定精度が非常に高いものを供給する必要がある。データの傾向を単に示すだけでは不十分である。製造ツールおよび技術の開発において求められているのは、製造される構造を大きく変化させることなく、特徴をわずかに調節することである。たとえば、典型的にトランジスタにおけるLDD構造などの集積回路構造において改善をもたらすものは、ドーパ剤適用量の約10パーセントの変化または適用される100℃の温度の変化である。プロセス変更により達成される調整が小規模であることと、変更の結果を正確に測定することが困難であることから、信号処理における劣った信号対雑音比に似た、製造環境の不利な特徴が明らかにされる。

製造シミュレーションツールはシミュレーションテストを行なう前に較正される。較正は典型的には、実験的にまたは前のシミュレーションにより生成される較正された入力パラメータを入力することによって達成される。従来の製造プロセス較正では、特定されたパラメータ値は、特定されたプロセス出力値を生じるように適合される。従来のシミュレーションおよび較正技術を用いて現実的なシミュレーション結果が得られることはめったになく、これは、これらの技術が製造プロセスの真の性質および複雑さを捉えていないからである。さらに、従来の較正プロセスでは、シミュレーションツールが役に立つようになる前に、装置の技術者が熱心にこれを学習する必要がある。そのため、較正プロセスのため、プロセス認定および改善が大幅に遅れる。この問題をさらに悪化させることには、較正手順は、時間が経ち製造区域の環境が変化するにつれて連続的に繰返される。

製造環境のこれらの特徴は、製造監視の分析およびプロセス改善にも当てはまる。たとえば、多くの場合、時間が経つとプロセスがどのように変化するかを知って、たとえば3週間にわたって、たとえば3パーセントという少量の製造結果における変化を追跡し、最終結果を生じるようにすることは望ましい。さらに、このような小さな差は典型的に、統計的変動および測定誤差の環境において測定される。

製造環境の多くの特徴は不利なものであるが、いくつかは有利なものもある。利点の1つは、測定プロセスから生じる構造の仕様がよく規定されていることで



ある。別の利点は、製造プロセスのさまざまな段階において得られる実際のインライン測定値および実際のWETデータがふんだんにあり、容易に入手可能であることが挙げられる。これらのデータには、製造プロセスに関する有益な情報が豊富である統計的プロファイルデータが含まれる。

統計的変動、複雑な相互作用および測定誤差から起こる不正確を避け、または補償し、小さな差を生じるプロセス変更でさえ測定することができ、監視でき、分析できるようにする、製造プロセスを追跡し分析するための技術が求められている。

#### 発明の概要

この発明によれば、半導体製造プロセスの統計的シミュレーションは実際のプロセスと並行して実行される。実際の製造データから抽出され確率密度関数の形態で表わされる入力パラメータはシミュレータに与えられ、シミュレータは今度は、確率密度関数の形で表わされる実際の製造プロセスをシミュレートする。各シミュレーションステップは、繰返し計算をして問題の最良の解を定める試行錯誤の方法であるモンテ・カルロ法を用いて、ランダムシード値を使って繰返される。シミュレータは確率分布の形態で出力を生成する。

統計的シミュレーションは、単一ステップフィードバックを用い、そこでは、シミュレーションランにおいて実際のインライン測定データから供給される、または得られる入力パラメータが用いられる。シミュレータによって生成される中間出力構造データおよびWETデータの双方の出力データは、測定データが入手可能である状況においては実際のインライン測定データと一致させられる。シミュレータの確率密度構造は各シミュレーションステップの後に調整され、シミュレーションされたデータがインライン測定データとより厳密に一致するようにする。単一ステップフィードバックの本質は、各々、個別のプロセスステップの較正に対して、専用の一連のモンテ・カルロ・シミュレーションが存在し、すべてのそれまでのステップからの較正結果を用いることである。たとえば、あるプロセスが50個のプロセスステップを含み、較正モデルを作るのに100個のモンテ・カルロ・シミュレーションステップが必要である場合、シミュレーションス

トップは較正プロセスにおいて5000個のシミュレーションステップを含み、その各々が第1のステップから始まり較正するステップまで続く。

統計的シミュレーションは、較正ランおよび予測ランを含む2つのタイプのシミュレーションランを含む。いずれのシミュレーションランのタイプも、確率密度関数を基本の初等単位として用いる統計的シミュレーションである。

較正ランでは、シミュレートされた出力データを実際のインライン測定データと一致させるように較正する。シミュレーションオペレータは、較正ランに用いるべき実際のインライン測定データを特定する。たとえば、典型的な製造プロセスでは、製造ツールに特有のパラメータ、温度、圧力、堆積材料の濃度などを含む特定のプロセスパラメータが個別に特定される。較正ランの結果は比較され、その比較の結果パラメータが更新され、それによってプロセスが選択された製造特徴に対して特殊化されるようにする。

説明するプロセスには多くの利点がある。利点の1つは、説明する装置および方法が、広範囲の入手可能な測定値の統計的分析とインライン製造プロセスラインへのフィードバックとを組合せることである。また、統計的シミュレーション方法の自動に較正するという特徴は、製造プロセスの手動での較正を有利に補う。シミュレーションオペレータは、単にシミュレータのパラメータ値を変えることによって依然として製造パラメータを手動で較正できる。自動較正特徴のおかげで、特定のパラメータが個別に変更されその変更の結果が容易に追跡できる較正の枠組を設けられ、手動の較正が容易になる。このように、単一ステップフィードバックを用いて、特定されたパラメータにおける変更を個別に追跡するあらゆる範囲にわたる較正情報が得られる。

開示される方法の別の利点は、取扱いが減少するため、製造された装置の欠陥率が非常に低いことである。取扱いが減少することから生じるこの方法のさらなる利点は、製造コストが大幅に減少することである。

#### 図面の簡単な説明

新規なものと思われるこの発明の特徴は、添付の請求の範囲に特に挙げられている。しかしながら、この発明そのものは、その構造および動作の方法の両方に

において、以下の説明および添付の図面を参照することによって最もよく理解されるであろう。

先行技術と記される図 1 は、製造プロセスのブラックボックス分析を示す一連のグラフの図であり、組合せると出力変数の統計的プロファイルをもたらす 2 つのプロセス入力パラメータの統計的プロファイルを示す。

図 2 は、この発明の一実施例によるシミュレーションシステムの構成要素を示すブロック図である。

図 3 は、図 2 に示されるシミュレーションシステムの 2 ラン・プロセスを示すブロック図である。

図 4 は、この発明の一実施例による統計的シミュレーション方法の較正プロセスのフローチャートの図である。

図 5 は、図 4 に示される較正プロセスの測定データ高域フィルタ処理動作のフローチャートの図である。

図 6 (A)、図 6 (B) および図 6 (C) は、図 5 に示される測定データ高域フィルタ処理動作の中間結果を示す一連のグラフの図である。

図 7 (A)、図 7 (B)、図 7 (C) および図 7 (D) は、特定されたデータ高域フィルタ処理動作の中間結果を示す一連のグラフの図である。

図 8 は、実際のデータをシミュレートされたデータと一致させるためのマッチング動作のステップを示すフローチャートの図である。マッチング動作は、図 4 に関して説明する較正プロセスのステップの 1 つである。

図 9 は、この発明の一実施例による統計的シミュレーション方法の予測プロセスのステップを示すフローチャートの図である。

図 10 は、この発明の一実施例による製造システムの全体構造の要素を表わすフローチャートの図である。

#### 詳細な説明

図 2 は、さまざまな製造装置 210、プロセスパラメータを測定するためのさまざまなテスト装置 212 およびシミュレーションコンピュータシステム 214 を含むシミュレーションシステム 200 の構成要素を示すブロック図である。実

際の製造プロセスでは、典型的には複数の製造装置210を用いて製造プロセスのさまざまなステップを実行する。製造プロセスのいくつかの段階においては、テスト装置212を用いてプロセスパラメータが得られる。得られたプロセスパラメータデータは、伝送路216を通してシミュレーションコンピュータシステムへ送られる。伝送路216は、伝送ワイヤまたはネットワークラインなどの適当な通信システムのいずれかである。他のデータ伝送方法では、磁気ディスクによる伝達などの手動の技術を含んでもよい。製造装置210の例には、CVD反応器、真空ポンプ、イオン注入装置、堆積装置、フォトリソグラフィ装置、光学アライナ、フォトマスク、ウェハ洗浄装置、ウェットエッチング装置などが含まれる。テスト装置212の例には、残留ガス分析器、スペクトル分析器、電気プローブ、光学線量計測定装置、光学顕微鏡、レーザ反射率装置、スペクトロスコピーおよび製造業において公知である類似のデータ入手ツールが含まれる。シミュレーションコンピュータシステム214は、一般的な計算機能性とプロセスデータを受取るための一般的な通信動作とを含む適当なコンピュータシステムのいずれであってもよい。例示の一実施例では、コンピュータシステム214としてx86 PCインターフェイスクライアントのネットワークを有するSUN SPARC 20™アプリケーションサーバが用いられる。カスタマイズされたPdFab™シミュレーションツールとMicrosoft Excel™およびMicrosoft Access™を含む従来のソフトウェアとがデータを処理するのに用いられる。

シミュレーションシステム200は、いくつかの目的の特性を組込んだ、製造環境のためのシミュレーションおよび分析ツールである。第1に、シミュレーションシステム200は、実際の製造データ統計がガウスプロファイルに分布していないかもしれないため、任意の統計分布プロファイルによって、データが入力され、処理され、出力されるシミュレーションおよび分析を提供する。第2に、シミュレーションシステム200は、入手可能であればどんな測定データをも利用し、シミュレーション結果の精度を改善する能力を備えている。シミュレーションシステム200ではまた、データの補足が可能であり、一部の統計データが測定できない場合、または入手不可能である場合でさえも、可能な限り最良のシミュレーションを行なう。第3に、シミュレーションシステム200は柔軟であ

り、シミュレーションの根底にあるモデルをアップグレードし改善することができる。第4に、シミュレーションシステム200は、製造過程における既存のデータ収集および分析システムと衝突することなく、ほぼすべての動作を迅速に、かつ自動的にこなす。

図3を参照すると、シミュレーションシステム200の2ラン・プロセスは2つの異なる動作の運転モード、すなわち較正ラン310および予測ラン320を含む。較正ラン310では、入手可能なデータが処理され、シミュレートされたデータと測定データとを一致させるための適合関数が生成される。較正ラン310は、単一シミュレーションステップ312および実際の測定314を含む。シミュレーションステップ312および実際の測定314の結果は、適合関数316に従って処理される。較正ラン310は一連の単一シミュレーションステップ312を含み、その各々は対応する実際の測定（プロセスパラメータとインライン／WETデータとの両方）314を有する。複数のシミュレーションステップ312および実際の測定314の結果は処理され、適合関数316が生じる。各シミュレーションステップ312では、蓄積されたデータが、それまでに較正ラン310の間に計算されたすべての適合関数を用いて処理される。

予測ラン320では、測定データと較正ラン310において計算された適合関数とを用いて未知のデータを予測する。予測ラン320の間、いずれかのプロセスパラメータが既存のデータベースから欠けている場合、対応する較正ラン310で用いられる統計的分布関数が、欠けているパラメータに取って代わる。いずれかのWETデータまたはインラインパラメータが既存のデータセットに含まれる場合、これらのWETデータまたはインラインパラメータは、適合関数を変えることなく、計算された値に取って代わる。

図4には、統計的シミュレーション方法の較正プロセス400のフローチャートの図が示される。較正プロセス400には、実際のインラインプロセス420およびシミュレーションプロセス450を含む2つの並行するプロセスが含まれる。実際のインラインプロセス420には、プロセスパラメータを初期化するためのウェハ開始ステップ422が起これるとともに、1つの選択された製造プロセスステップを行なうための単一プロセスステップ424と、選択された製造プロ

セスの結果を測定するための測定ステップ 420 と、選択された製造プロセスを終了するためのプロセス終了ステップ 428 と、WET データパラメータを測定するための WET データ測定ステップ 430 とが含まれる。複数の適当なプロセスステップのうち、シミュレーション分析に適当なさまざまなプロセスステップは以下の態様で個別に調整される。シミュレーションに適当であるプロセスステップとは、(1) 集積回路の機能性または構造にとり重要である製造結果を生じ、(2) 測定可能な結果を生じ、(3) シミュレーションが可能であり、かつ(4) 機能または構造が異なるシミュレーションパラメータの変化に反応するプロセスステップである。適当なプロセスステップの例としては、チャネル注入前のパッド酸化ステップ、ゲート酸化ステップ、ゲートエッチングステップおよびスペーサ酸化物ステップが含まれる。典型的には、製造プロセスステップがら生じる、垂直方向寸法データおよび水平方向寸法データを含む 2 つのタイプの出力データが測定される。垂直方向寸法データの例としては、酸化物成長データ、ゲート酸化物厚さデータ、ポリシリコン厚さデータなどが含まれる。水平方向寸法データには、たとえばポリシリコンゲート長さおよび LDD スペーサ幅が含まれる。

ドーピングプロファイルデータは、安定していると想定されるプロセスから生じるため、ドーピングプロファイルは典型的には知られており、測定データではなくパラメータ値の理論上の推定値に基づいたシミュレーションが可能になる。適当な選択された製造プロセスの一例では、単一プロセスステップ 424 においてゲート酸化プロセスが行なわれ、インライン測定ステップ 426 において酸化物厚さのデータプロファイルが測定される。

シミュレーションプロセス 450 の対応するステップは、実際のインラインプロセス 420 のステップと並行して行なわれる。シミュレーション開始ステップ 452 では、実際のインラインプロセス 420 からの初期化データに応答してシミュレーションプロセス 450 が開始される。ウェハ開始ステップ 422 は、配向データなどの初期データを生成し、これは測定され、典型的には、Workstream™などの製造制御システム、Remote Workstream™などの製造制御システムのリモートアクセスチャネル、および TCP/IP などのアプリケーション

サーバへのネットワーク接続を通してシミュレーションプロセス450へ転送される。シミュレーション開始ステップ452では、シミュレーションプロセス450のパラメータをユーザにより規定される任意の値に初期化する。シミュレーション開始ステップ452に続くシミュレーションステップ454では、まずユーザにより規定される任意のパラメータを用いて、その後実際のインライン測定を基にしたパラメータ値を採用して、単一プロセスステップ424において行なわれる実際のプロセスステップをシミュレートする。処理時間などのさまざまな入力パラメータはテストオペレータにより指定される。これらの入力パラメータは、単一プロセスステップ424およびシミュレーションステップ454に適用される。入力データはいくつかのフォーマットにおいて適用できる。しかしながら、入力データは、実際の処理が開始される前に統計的分布関数に変換される。入力データポイントのアレイに関しては、データはソートされ、データ値がいずれかの2つの連続したデータポイントの間にあることの確率は同じであると想定される。平均標準偏差および範囲限界を有するデータなどの、統計的形態で表わされるデータについては、データは統計的分布関数として用いるための切断ガウスプロファイルとして統計的分布関数の形に表わされる。平均および範囲限界などの、統計的形態で表わされるデータについては、データは切断ガウスプロファイルとして統計的分布関数の形で表わされ、特定された限界の各々は平均値から3つの標準偏差だけ外れるものと仮定される。平均が範囲限界の間で中央に位置付けられていない場合、関数は非対称プロファイルとして形作られ、同じ母集団を有し標準偏差が異なる2つの半ガウスプロファイルの組合せと見なされる。平均および標準偏差などの、統計的形態で表わされるデータでは、データはガウスプロファイルとして統計的分布関数の形に表わされる。単一のデータポイントとして表わされるデータは、他に情報が入手可能でない場合、重要でないパラメータのみに対して用いられる。中間結果を含む実際のまたはシミュレーションの結果の各々は、単一のデータポイントとしてではなく統計的分布関数としてシミュレーションおよびプロセスに適用される。すなわち、統計的分布関数はシミュレーションシステム200における基本的データタイプである。

シミュレーションステップ454は、シミュレーションステップが何回も繰返

される統計的シミュレーションに基づいて動作する。各単一のシミュレーションランでは、各入力統計的分布関数から1つの値が計算され、対応する物理的または装置モデルに従って入力値が処理され、各出力統計分布関数に対する値が得られる。シミュレーションの繰返しの回数が多いほど出力分布の精度が改善されることに繋がる。

入力処理パラメータの一例は処理時間パラメータである。さらに、単一プロセスステップの間にさまざまな実際のインライン測定が得られる。これらのインライン測定の結果は高域フィルタステップ456によりシミュレーションステップ454に伝達される。高域フィルタステップ456では、単一プロセスステップ424からの入力パラメータおよびインライン測定データをフィルタ処理し、デジタイズ処理を行ない、離散的確率密度関数の出力を生成する。シミュレーションステップ454からのシミュレーション結果は、シミュレートされたプロファイルを生成するステップ458およびランダムシードステップ460に適用される。ランダムシードステップ460では、シード値がモンテ・カルロ法シミュレーションのために更新され、更新されたシード値がシミュレーションステップ454に適用される。シミュレートされたプロファイルを生成するステップ458では、実際の結果とシミュレートされた結果とのマッチング分析に用いられるシミュレートされたプロファイルが作られる。シミュレーションは複数のモンテ・カルロステップにおいて起こり、各ステップはシミュレーションステップ454およびランダムシードステップ460を1回通過することを含む。

シミュレーションステップ454およびランダムシードステップ460において行なわれる多パスフィードバックステップは、シミュレーションシステム200の較正を行なうための単一ステップフィードバック概念を例証するものである。各単一シミュレーションステップは他のシミュレーションステップとは無関係に評価される。あるシミュレーションステップでは、データが測定されシミュレーションステップに適用され、シミュレーションの結果がプロセスにフィードバックされる。シミュレーション結果は、シミュレーションステップ内で測定されるデータに対して適合関数を計算することのみに用いられる。単一ステップフィードバックの概念を用いると、測定データを柔軟に用いてシミュレーション精度



が

改善され、さまざまなシミュレーションステップと伝搬誤差との相互作用が減少する。

単一ステップフィードバックの概念は、シミュレーション全体が各シミュレーションランにおいて完了し、すべてのシミュレーションステップの中間出力値が集められ、出力適合関数がすべて一度に計算されるという点で従来のシミュレーションとは実質的に異なる。

単一プロセスステップ424の後に続くインライン測定ステップ426では、酸化物厚さのデータプロファイルが測定され、データプロファイル結果が実際のデータ対シミュレートされたデータの比較ステップ462へ伝達される。実際のデータ対シミュレートされたデータの比較ステップ462では、シミュレートされたプロファイルを生成するステップ458からはシミュレートされたデータを受取り、インライン測定ステップ426からは実際のインラインデータを受取り、これらのデータプロファイルを、たとえばプロファイルの逐一の差を計算することによって、デジタルサンプルごとに比較する。差のプロファイルは、差のプロファイル記憶ステップ464において記憶される。変換するためのマッチングプロセスを決定するステップ466では、データ比較ステップ462により定められる差のプロファイルに基づいて、シミュレートされたプロファイルデータを変換するのに、それまでのシミュレートされたデータを用いるか、または実際のデータを用いるかどうかを決定する。変換動作は、シミュレートされたプロファイルに対してマッチングプロセス変換ステップ468において行なわれ、マッチングプロセス変換ステップ468では、データ比較ステップ462から得られた差のプロファイルに基づいて、シミュレートされたプロファイルを生成するステップ458から受取られたシミュレートされたプロファイルを繰返し変換する。マッチングプロセス変換ステップ468では、差のプロファイルとシミュレートされたプロファイルとが組合され、変換関数が生じる。変換関数はそこで、いずれかの任意のシミュレートされたポイントと変換されたシミュレートされたポイントとを後者のシミュレーションのために一致させるのに用いられる。変換関数

を得る 1 つの方法はニュートンの補間法を用いることである。すなわち、実際の測定データにより規定されるデータ範囲に対しては、ニュートンの補間法が用いられる。

れ、パーセント点の一致に基づいて連続関数を規定する。実際の測定データによって規定されないデータ範囲に関しては、連続関数を規定するのに三次多項式が用いられる。このマッチング方法では、柔軟性と精度との適当なバランスが取れる。

各単一プロセスステップと各シミュレーションステップとが完了し、シミュレートされたプロファイルが生成された後、さらなる製造プロセスの応用のために、さらなるプロセスステップを行なってもよく、また、さまざまなシミュレーションステップ、高域フィルタステップ、シミュレートされたプロファイルを生成するステップ、ランダムシードステップ、実際のデータ対シミュレートされたデータの比較ステップ、差のプロファイル記憶ステップ、変換するためのマッチングプロセスを決定するステップおよびマッチングプロセス変換ステップを含むさらなるシミュレーションプロセスステップを行なってもよい。実際のインライン製造の各単一プロセスステップおよび対応するシミュレーションの各々に対して、完全な実際のインラインプロセスおよび完全なシミュレーションがランダム入力パラメータデータを用いて行なわれ、そのため、実際の製造ステップがシミュレートされたステップと並行して進行しながら個別の処理段階が行なわれる。

すべての実際の処理ステップの後、実際の処理は実際のプロセス終了ステップ 28 で終わり、WET データ測定ステップ 430 では、製造プロセスの最終出力データが測定され、WET データプロファイルが生成される。WET データは高域フィルタステップ 432 において処理され、フィルタ処理された WET データが生成される。

すべてのシミュレートされたプロセスステップの後、シミュレーションはシミュレートされたプロセス終了ステップ 470 で終わり、装置シミュレーションステップ 472 によって完全な装置シミュレーションが行なわれる。装置シミュレーションステップ 472 は、それまでのシミュレーションステップから得られた

プロファイル情報を組込んでおり、ランダムシードシミュレーションを用いたモンテ・カルロ分析を利用する。装置シミュレーションプロファイルを生成するステップ 473 では、実際の計算された WET データに対応する装置プロファイルが生成される。装置プロファイルマッチングステップ 474 では、WET データ

と装置シミュレーションステップ 472 により生成された装置データとを、たとえばプロファイルの逐一の差を計算することによってデジタルサンプルごとに比較する。この装置の差のプロファイルは、装置の差のプロファイルを記憶するステップ 476 において記憶される。WET データを変換するためのマッチングプロセスを決定するステップ 478 では、装置プロファイルマッチングステップ 474 により定められる差のプロファイルに基づいて、シミュレートされたプロファイルデータを変換するのに、それまでのシミュレートされた WET データを用いるか、または実際の WET データを用いるかどうかを決定する。変換動作は、シミュレートされた WET データに対して WET 統計的プロファイル変換ステップ 480 において行なわれ、較正プロセス 400 の最終出力プロファイルが生成される。

較正プロセス 400 により生成される出力データは、マッチングプロファイルのすべてとシミュレートされたプロファイルのすべてとを含む。

較正プロセス 400 の実施例によっては、実際のインラインプロセス 420 およびシミュレーションプロセス 450 は完全に自動であり、並行して同時に、かつリアルタイムで行なわれる。他の実施例では、実際のインラインプロセス 420 とシミュレーションプロセス 450 とは並行して行なわれるがリアルタイムではなく、そのため、さまざまな実際のプロセスステップおよびシミュレーションステップは一般的に個別に行なわれるが、実際のインラインプロセス 420 における測定から得られ、高域フィルタステップ 456 などのステップにおいてオフラインでフィルタ処理され、シミュレーションプロセス 450 へオフラインで伝達されるデータを用いて行なわれる。

較正プロセス 400 の実施例によっては、実際のインラインプロセス 420 からのインラインデータの抽出は自動化されており、高域フィルタステップ 456

などのステップにおける高域フィルタ処理は、自動的かつ周期的に実際のインラインデータの予め選択されたサンプルに対して行なわれる。

図5に示されるフローチャートの図と併せて図6(A)、図6(B)および図6(C)を参照すると、測定データを高域フィルタ処理する高域フィルタ処理動作がグラフで表わされる。高域フィルタ処理動作は、たとえば図4に示される高

域フィルタステップ432および456において行なわれる。図5は、測定データをフィルタ処理する高域フィルタ動作500のステップを示すフローチャートの図である。データは測定ステップ510において測定され、測定されたデータはヒストグラム記入ステップ512において複数の量子化した誤差範囲 $\delta x$ の各々においてカウントされる。データの形態は、プロセスパラメータ、インライン測定値およびWETデータである。一般的に、プロセスパラメータは、製造プロセスにおいて測定、観測、または特定できるどんな適当なかつ意義のあるプロセスパラメータをも含む。適当なプロセスパラメータは、たとえば炉体温度および堆積時間などを含む。インライン測定値には、ゲート酸化プロセスステップのための酸化物厚さ、堆積ステップのためのポリシリコン厚さなどのプロセス結果の何らかの測定値が含まれる。WETデータには、しきい値電圧( $V_{th}$ )、飽和しきい値電圧( $V_{sat}$ )、最大相互コンダクタンス( $G_m$ )および飽和電流( $I_{dsat}$ )などの電氣的パラメータ測定値が含まれる。これらのWETデータパラメータを制御するのに、チャネル注入前のパッド酸化ステップ、ゲート酸化ステップ、ゲートエッチングステップおよびスペーサ酸化物ステップといったプロセスステップの与える影響が最も大きいと考えられている。プロセスパラメータは、プロセスへの入力パラメータとしての役割を果たす特定された媒介変数値を指定する。インライン測定値およびWETデータは、結果として測定されるか、またはプロセスへ入力パラメータとして適用される。

図6(A)では、量子化した誤差範囲 $\delta x$ において横軸に示される実際のインラインデータ測定値と、縦軸の、測定値の各 $\delta x$ 範囲内に含まれるデータポイントの数とのヒストグラムが示される。図6(A)、図6(B)および図6(C)に関して説明した高域フィルタ処理動作は、測定されたデータおよび観測された

データに対して行なわれる。

再び図5を参照すると、誤差量子化ステップ514では、誤差の項 $\delta x$ の量子化を予め定められた態様でステップサイズ $\delta y$ に変更し、それによって各 $\delta y$ が、 $\delta x$ より小さく、かつ最大値と最小値 $X$ の差を任意の整数 $n$ で除算したものに等しい最大の値であるようにする。図6(B)では、量子化したステップサイズ $\delta y$ の $n$ 個のグループに関する、横軸に示される実際のインラインパラメータ値の

ヒストグラムが示される。これらの値はデータ正規化ステップ516において正規化されるため、各ヒストグラム値は、各ステップサイズ範囲内に含まれるデータポイントの総数の百分率を示す。確率密度関数を得るステップ518では、実際のインラインパラメータ値の確率密度関数が計算される。確率密度関数の一例は図6(C)に示される。確率密度表を作成するステップ520では、ステップ $\delta y$ の上昇順における $n$ 個の確率密度関数値の表が作成される。

図7(A)、図7(B)、図7(C)および図7(D)を参照すると、特定されたデータを高域フィルタ処理する高域フィルタ処理動作がグラフで表わされる。特定されたデータについては、確率密度関数は実験に基づいてではなく理論の上で導かれるため、データが処理されることはない。特定されたデータはさまざまな統計的パラメータによって特定される。一例では、特定されたデータは、平均パラメータ値 $\mu$ 、標準偏差値 $\rho$ 、最大パラメータ値および最小パラメータ値によって特定されるため、確率密度関数は図7(A)に示されるようなガウス分布に適合される。別の例では、特定されたデータは平均パラメータ値 $\mu$ および標準偏差値 $\rho$ のみによって特定されるため、確率密度関数は図7(B)に示されるようなガウス分布に適合される。さらに別の例では、特定されたデータは平均パラメータ値 $\mu$ 、最大パラメータ値および最小パラメータ値によって特定されるため、確率密度関数は図7(C)に示されるような非対称のガウス分布に適合される。別の例では、特定されたデータは平均パラメータ値 $\mu$ のみによって特定されるため、確率密度関数は図7(D)に示されるようなガウス分布に予測される。一般的に、供給されるパラメータの数が少ないよりは多い方が、より適当な確率密

度関数が計算される。

図8では、共に図4に示される、実際のデータ対シミュレートされたデータの比較ステップ462と装置プロファイルマッチングステップ474とに用いられるマッチング動作800が、フローチャートの図によって示されている。まず、実際のデータが図5に関して説明した態様で高域フィルタ処理される。特定的には、マッチング動作800には、ヒストグラム記入ステップ512、誤差量子化ステップ514、データ正規化ステップ516、確率密度関数を得るステップ518および確率密度の表を作成するステップ520が含まれる。プロファイルー

致ステップ820では、シミュレートされたプロファイルを生成するステップ458および装置シミュレーションプロファイルを生成するステップ473などの、シミュレートされたデータを生成するステップにおいて生成されるシミュレートされたデータのための確率密度表は、ステップ518により生成される実際のデータのための確率密度表に適合される。プロファイル適合は、シミュレートされたプロファイル $\delta y'$ のステップサイズを強いることによって行なわれ、そのため、シミュレートされたプロファイルの可変ステップサイズ範囲の各々の中に含まれるデータポイントの総数の百分率が、実際のデータプロファイルの固定されたステップサイズ範囲の各々におけるデータポイントの百分率と一致するようにする。このように、 $n$ 個のアレイの4倍のステップサンプルを含む差のプロファイルが生成される。 $n$ 個のステップサイズサンプルの各々に対して、各ステップ要素のための総データポイントの百分率を示す振幅数と、実際のデータのための上昇する、サイズが一定の $\delta y$ ステップと、適合されるシミュレートされたデータのための上昇する、サイズが可変の $\delta y'$ ステップと、差のステップサイズ $\delta y - \delta y'$ を示す要素とを含む4つの要素が記憶される。

最良適合を定めるステップ822では、振幅数の最良適合関数が、当該技術においては公知であるように、多項式適合関数およびスプライン関数など、選択された適合関数を用いて得られる。最良適合関数の一例では、定数関数が適用され、剰余(差)が計算され、そこで線形多項式適合が適用され、剰余が計算される。剰余の差が指定された量より少ない場合、定数関数は最良適合をもたらす。定

数関数または線形多項式関数のいずれも最良適合をもたらさない場合、二次多項式関数が適用される。同様に、最良適合が見つかるまで、より高位の多項式関数が適用される。一般的に、最良のシミュレータとは、最良適合が定数関数であるか、または定数関数が最良適合をもたらさない場合には最良適合がより下位の多項式関数であるシミュレータである。

マッチング動作800により達成される利点の1つは、較正出力統計的分布と実際のデータとの間の自動的に得られる正確な適合関数に基づいたシミュレーションの精度の高さである。この動作では、パーセント点分布全体が知られている2つのデータ母集団を統計的に適合し、それによって、ある範囲のパラメータお

よびデータ測定値に対する適合関数が直接のパーセント点相関によって簡単に計算されるようにする。このことはたとえば、出力統計的分布関数の10%、35%および75%は実際のデータの10%、35%および75%に写像されることを意味する。2つのデータポイント間のデータ値は、補間法によって正確に測定される。

マッチング動作800のさらなる利点は、実質的にどんなプロファイルに対しても、どれだけの数のデータサンプルに対しても、そのプロセスは柔軟性があり適用可能であることである。別の利点は、適合関数が範囲外のデータポイントに適用されることである。さらなる利点は、測定の不正確さを補うために、生じるデータに低域フィルタおよび高域フィルタを適用してもよいことである。

マッチング動作800はまた、範囲外のデータに対処し、従来の範囲を外れた値を有する実験的なプロセスパラメータの適用から生じる可能性のある結果を予測する。そのため、マッチング動作800は較正データにより規定される領域を超える。数値的分析理論からいえば、外挿法関数の次数が高ければ高いほど、起こり得る誤差は大きくなる。適合関数の精度と柔軟性とを妥協するために、較正データにより規定されていない領域においては適合関数に三次多項式が用いられる。

較正プロセスの後、予測プロセスが実行される。オペレータは、オペレータの選択する入力パラメータまたはプロファイルのどんなものをも含む予測プロセス

のための入力パラメータを特定する。特定されていない入力パラメータはどれも、較正プロセスにおいて得られるパラメータまたはプロファイルにデフォルトする。図9を参照すると、予測プロセス900はシミュレーション開始ステップ910から始まり、シミュレーション開始ステップ910では、オペレータにより特定される入力パラメータおよびプロファイルが入力され、デフォルト入力パラメータおよびプロファイルがインストールされる。ユーザにより規定されるシミュレーションステップ912では、ユーザにより特定されるデータと処理された表からのデータとを用いてシミュレーションが行なわれプロファイルが得られる。シミュレーションステップ912の後、シミュレートされたプロファイルステップ914において、シミュレートされたプロファイルが生成される。マッ

チング変換ステップ916では、差のプロファイルとシミュレートされたプロファイルとが組合され、変換関数が生じる。変換された構造はステップ918において得られる。このようにしてさまざまなプロセスパラメータがシミュレートされ、プロセス終了ステップ920において予測シミュレーションが終わるまで続く。次に、装置シミュレーションステップ922において装置シミュレーションが行なわれる。そこで、装置シミュレーションから生成されたプロファイルは、変換するためのマッティングステップ924において一致させられ、それによってシミュレートされたWETデータが生成される。

装置シミュレーションから得られるWETデータは、プロセスシミュレーションの後のインラインデータと全く同じ態様で、同じマッティングおよび変換技術を用いて定められる。

シミュレートされたプロセス方法の利点の1つは、シミュレートされたデータおよび実際のデータはすべて、均一に、かつ決定論的にではなく統計的に扱われることである。別の利点は、すべての実際のインラインデータおよびWETデータがシミュレーションの精度を改善するために利用可能であることである。さらに、安定性が改善された製造プロセスでは、データ適合は実質的に自動に行なわれる。また、プロセスの物理的な較正は必要ではなく、そのため、シミュレーションによる自動の較正が可能であり、これは製造ツールが製造に用いられる前に



達成される。さらなる利点は、シミュレートされたデータのおかげでパラメータ精度が改善されることである。

図10を参照すると、製造システム1000の全体構造がブロック図の形で示される。このシステム1000において、製造プロセス1010では、回路が製造されるにつれ、インラインデータブロック1012において集められる実際のインラインデータと、WETデータ測定ステップ1016の誘導のための情報とが生成される。このWETデータはWETデータブロック1018において集められる。インラインデータおよびWETデータはデータベース1020の中へ入力される。データベース1020のデータは、週単位などのスケジュールされた間隔で自動データ抽出ステップ1022において処理される。これらのデータはデータプロセスブロック1024において集められ、較正プロセス1026に適

用される。マッチング手順はマッチング関数ブロック1028において実現され、プロファイルおよびデータをもたらし、プロファイルおよびデータはデータベース1020に入力される。プロファイルおよびデータは予測プロファイル1030に適用される。データベース1020の中の選択される情報はまた、手動抽出ブロック1032において手動で抽出され、このデータとオペレータが供給するデータ1034とは共に手動データ処理ブロック1036に適用される。データ処理ブロック1036において得られたデータもまた、予測プロセス1030に適用される。また、較正プロセス1038は、手動データ処理ブロック1036からのデータを用いて実行される。較正プロセス1038からの情報を手動マッチング関数ブロック1040において用いて、選択されたデータを手動で抽出することから生じるプロファイルおよびデータが得られ、これはまた予測プロセス1030の動作のため入力される。予測プロセス1030では、ブロック1042におけるさまざまな応用のための予測情報が生成される。

較正ランの実用的用途の1つは、すべてのパラメータを一定に保ちながらもある時間にわたって実際のインラインデータ測定を行ないつつ、製造プロセスをシミュレートすることである。たとえば、この方法の実施例によっては、データを数週間にわたって毎週測定し、プロセス特徴の経時的な変化を検出してもよい。

統計的シミュレーションの別の応用としては、製造プロセスの監視、プロセスの開発および改善、ならびにさまざまな製造プロセスのためのデータの比較が挙げられる。

この発明の特定の実施例の説明は、例示することを意図しており、限定するものではない。当業者には明らかになるであろう数多くの他の実施例はすべて、この発明の広い範囲内に含まれる。

【図1】

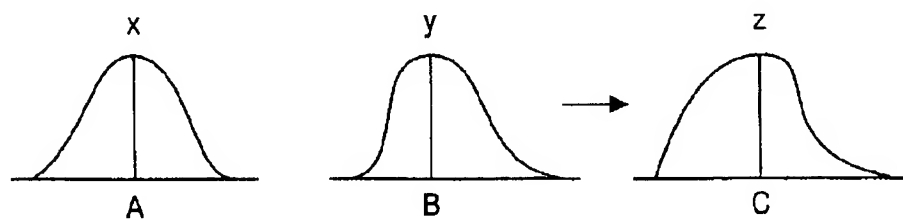


FIG. 1

【図2】

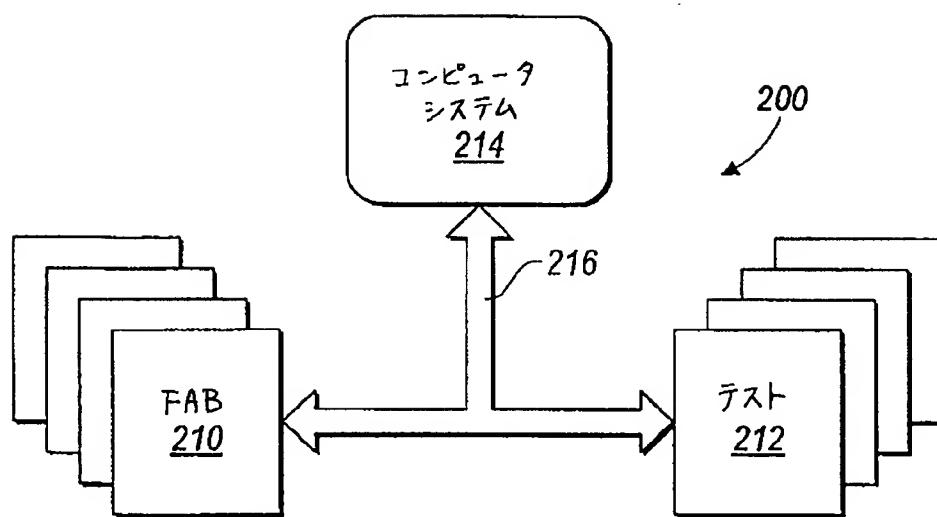


FIG. 2

【図3】

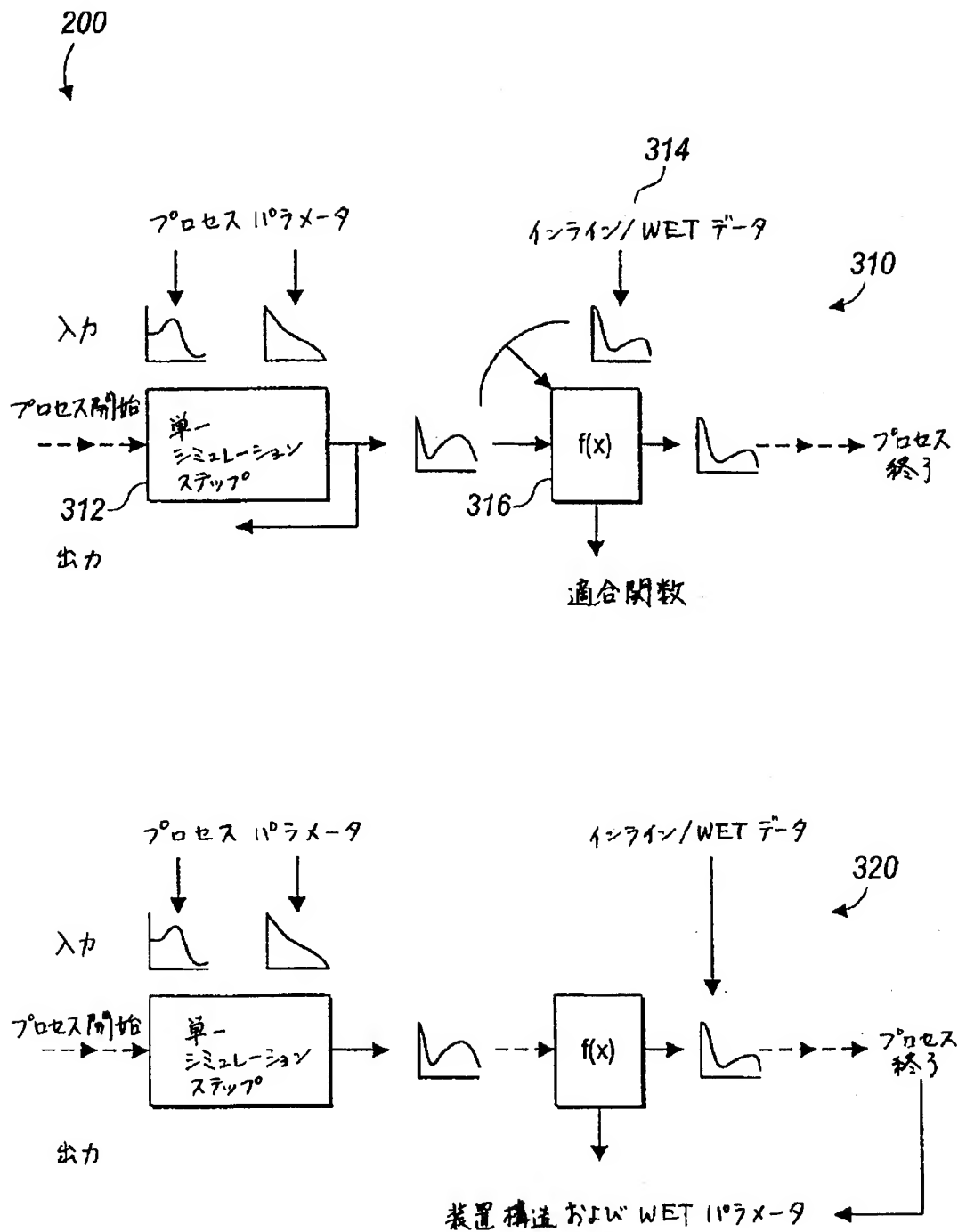


FIG. 3

【図4】

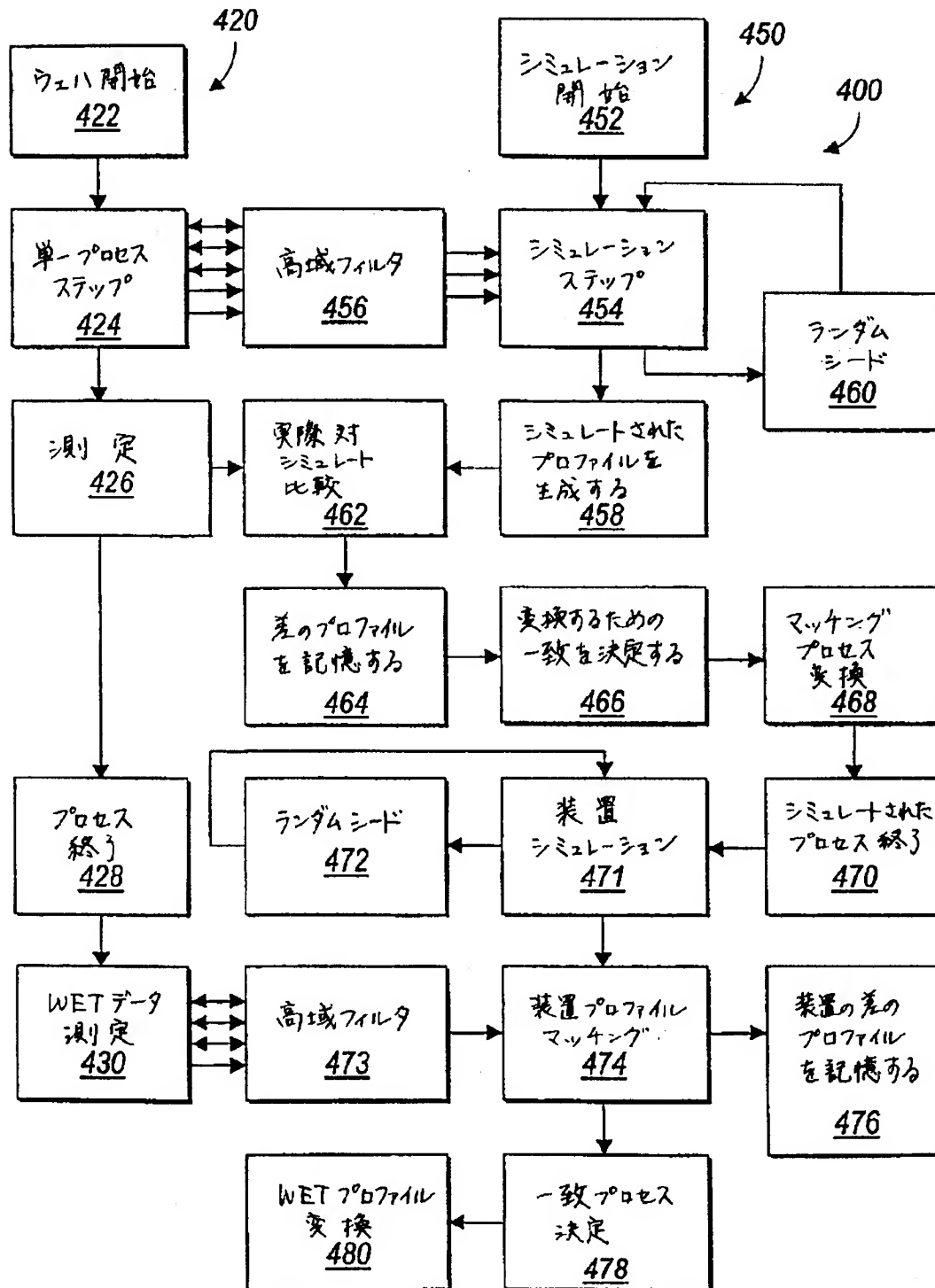


FIG. 4

【図 5】

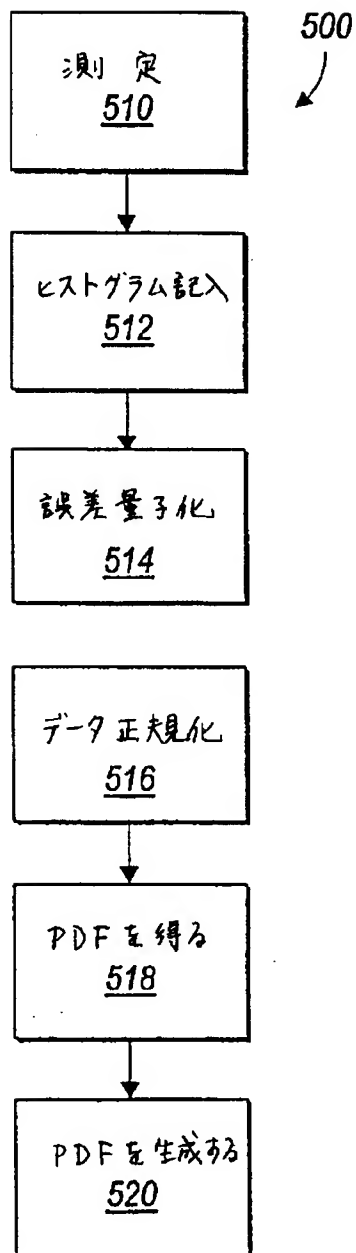


FIG. 5

【図6】

FIG. 6A

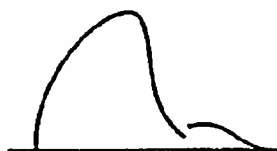


FIG. 6B

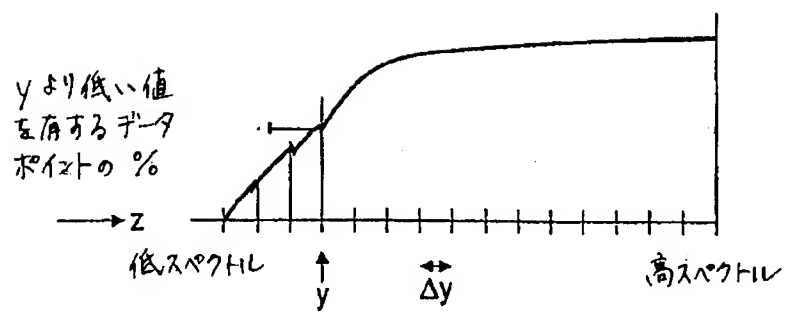
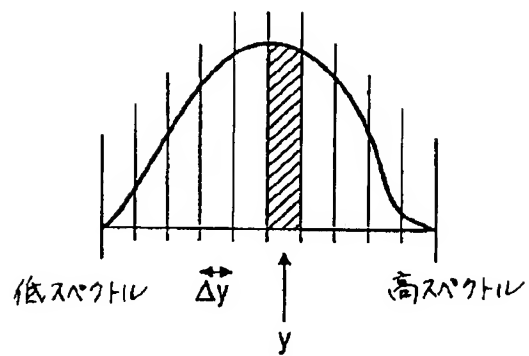
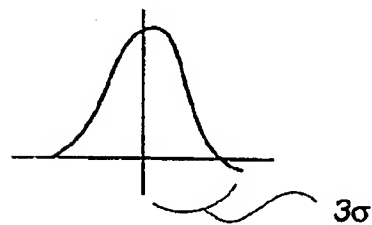
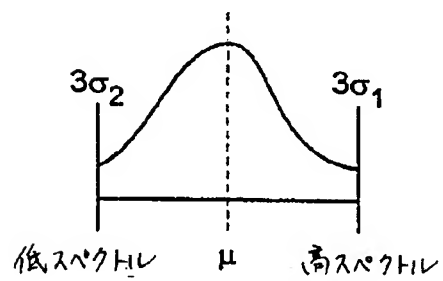
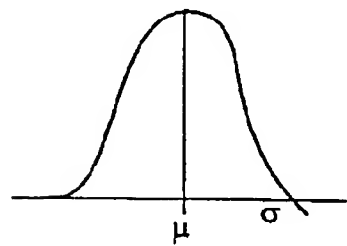
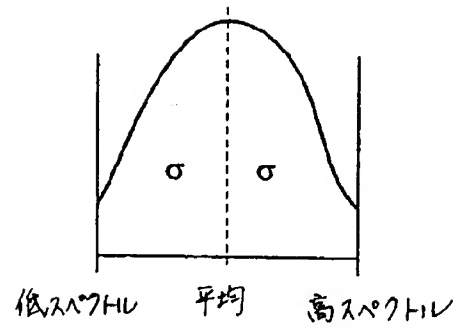


FIG. 6C

【図7】





【図8】

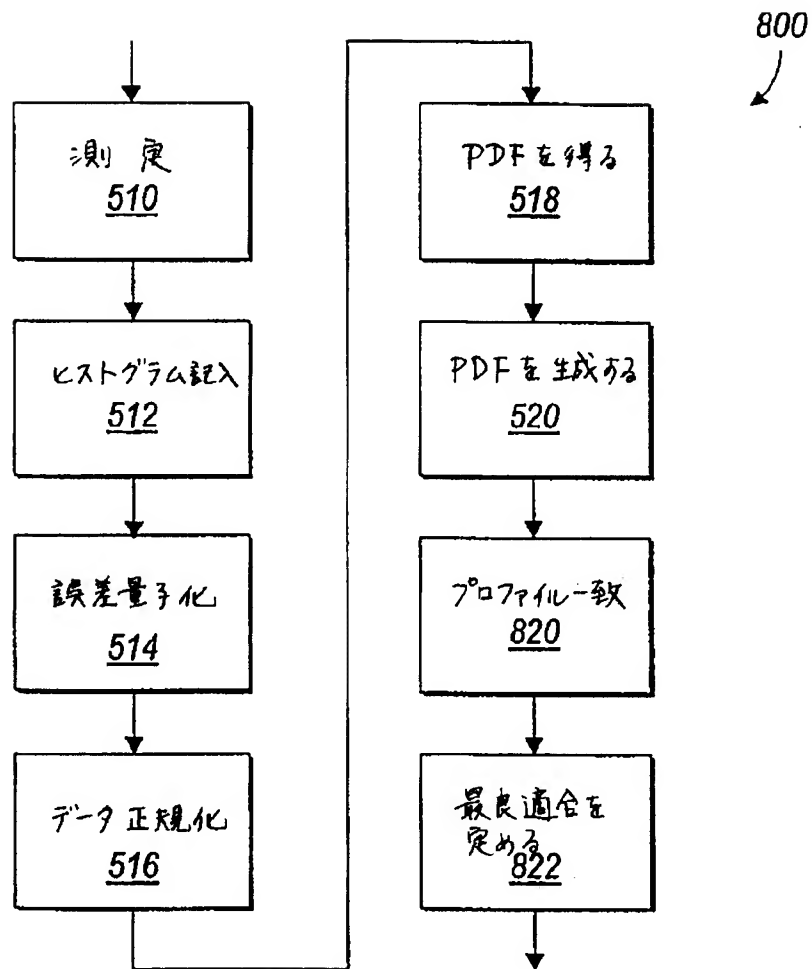


FIG. 8

【図9】

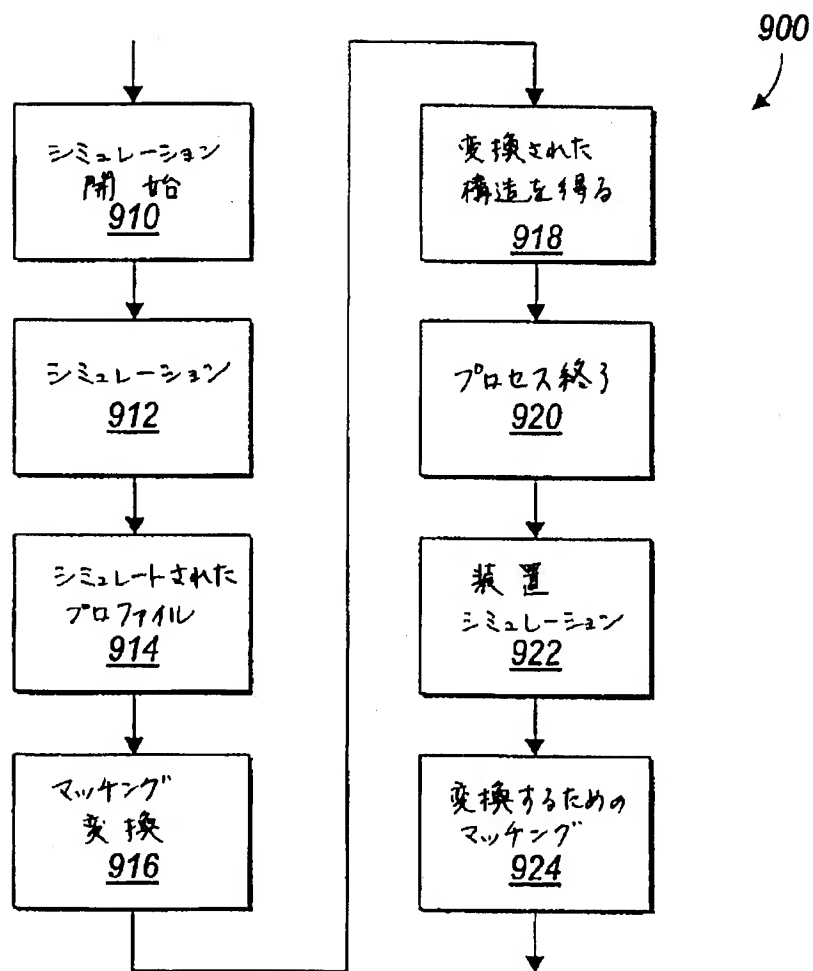


FIG. 9

【図10】

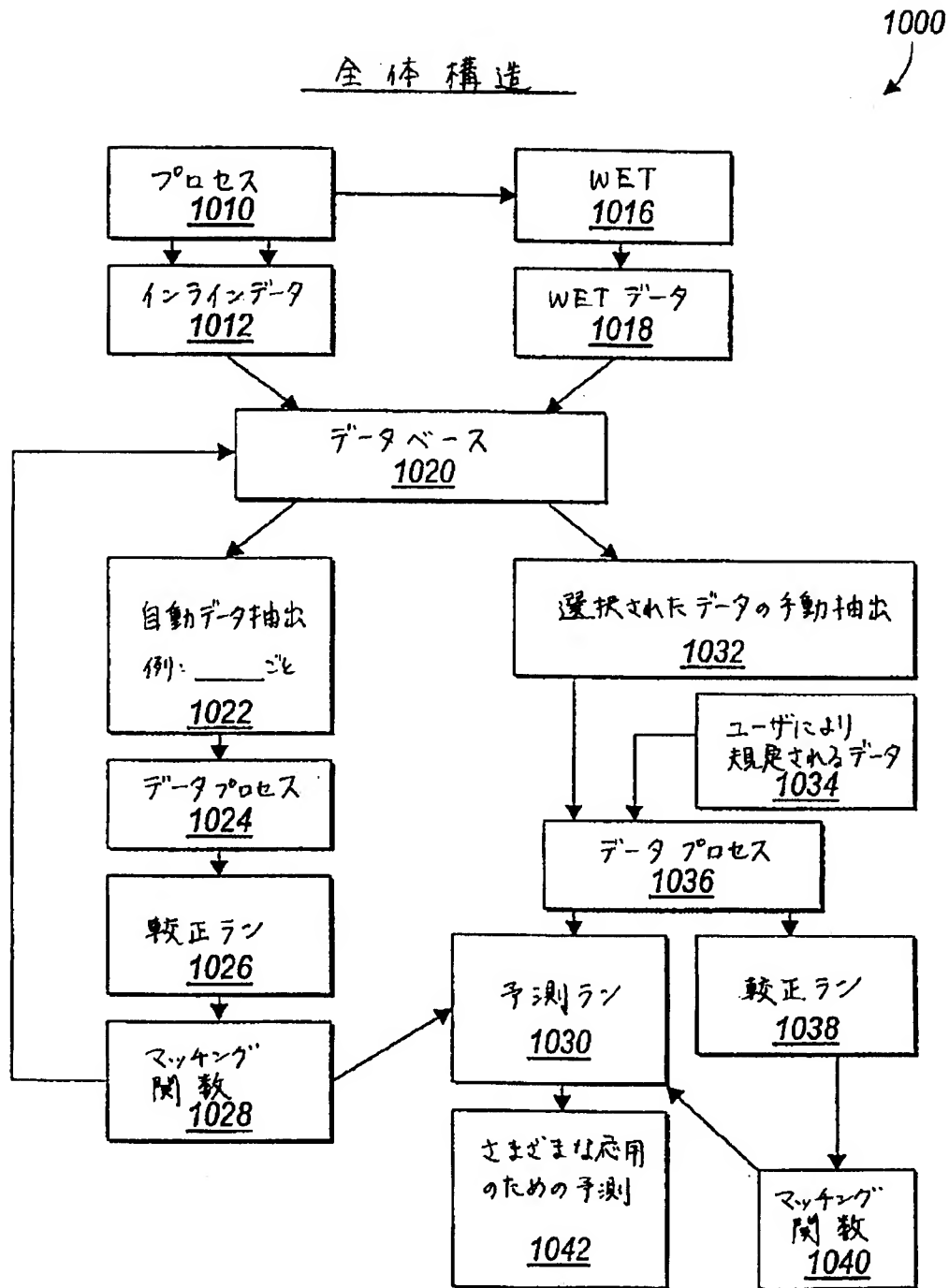


FIG. 10

【手続補正書】特許法第184条の8第1項

【提出日】平成10年2月4日(1998.2.4)

【補正内容】

請求の範囲

1. 製造分析システム(200)であって、

ワークピースに適用される半導体製造プロセスステップ(424)を行なうための製造装置(210)と、

前記ワークピースから感知されるプロセスパラメータデータを得るためのテスト装置(212)と、

前記テスト装置に結合され前記プロセスパラメータデータを受取るコンピュータシステム(214)と、

前記コンピュータシステムにおいて動作可能であり、かつ複数のルーチンを有するソフトウェアプログラムとを含み、前記プログラムは、

前記プロセスパラメータデータを受取るルーチン(454)と、

入力値を処理することによって前記製造プロセスステップをシミュレートしてシミュレートされた結果を生成するルーチン(454)と、

前記シミュレートされた製造プロセスステップを示すシミュレートされたプロファイルを生成するルーチン(458)とを含んでおり、

前記ソフトウェアプログラムは、受取ったプロセスパラメータデータを入力統計分布関数に変換するサブルーチンをさらに含み、

前記シミュレーションルーチン(454)により前記入力統計分布関数から入力値が計算され、

前記ソフトウェアプログラムが、前記シミュレーションルーチン(454)を含む複数のシミュレーションステップと前記シミュレーションルーチン(454)におけるシミュレーション値を更新するための反復更新するステップとを繰返すサブルーチンを含む統計的シミュレーションを含み、それによって前記シミュレートされたプロファイルを生成するルーチン(458)に適用される複数のシミュレートされた結果を生成し、出力統計分布関数を含む前記シミュレートされたプロファイルを生成することを特徴とする、システム。

2. 前記複数のシミュレーションステップは、モンテ・カルロ法を用いて変化させられ前記シミュレーションルーチンにシード値を与えるランダムシードステップ(460)を含む、請求項1に記載のシステム。

3. 前記ソフトウェアプログラムは、

前記シミュレートされたプロファイルと実際のインライン測定データとを比較するサブルーチン(462)と、

前記シミュレートされたプロファイルを調整してこれが前記実際のインライン測定データとより明らかに一致させるサブルーチン(468)とをさらに含む、請求項1または2のいずれかに記載のシステム。

4. 前記比較するサブルーチン(462)により、一致させるサブルーチン(468)が変換関数を生成するのに用いる差のプロファイルを定める、請求項3に記載のシステム。

5. 製造プロセスステップのシミュレーションは、他の製造プロセスステップをシミュレートする他のシミュレーションステップとは無関係に評価される、請求項1から4のいずれかに記載のシステム。

6. 製造プロセスを分析する方法であって、

ワークピースに適用される半導体製造プロセスステップ(424)を行なうステップと、

前記ワークピースから感知されるプロセスパラメータデータを得るステップ(454)と、

前記プロセスパラメータデータを入力統計分布関数に変換するステップ(456)と、

前記入力統計分布関数から入力値を計算するステップ(454)と、前記入力値を処理してシミュレートされた結果を生成するステップ(454)と、統計的シミュレーションのためにシミュレーション値を更新してそれによって複数のシミュレートされた結果を生成するステップ(460)と、前記複数のシミュレートされた結果を用いて出力統計分布関数を含むシミュレートされたプロファイルを生成するステップ(458)とを含む複数のステップを繰返すことによって前

記製造プロセスステップを統計的にシミュレートするステップとを含む、方法。

7. 前記複数のシミュレートされた結果を生成する前記ステップ(460)は、モンテ・カルロ法を用いてランダムシード値を変化させるステップを含む、請求項6に記載の方法。

8. 前記シミュレートされたプロファイルと実際のインライン測定データとを比較するステップ(462)と、

前記シミュレートされたプロファイルを調整して前記実際のインライン測定データとより厳密に一致させるステップ(468)とをさらに含む、請求項6または7に記載の方法。

9. 前記比較するステップ(462)により、より厳密に一致させる前記ステップ(468)において用いられる変換関数を生成するのに用いられる差のプロファイルを定める、請求項8に記載の方法。

10. 製造プロセスステップのシミュレーションは、他の製造プロセスステップをシミュレートする他のシミュレーションステップとは無関係に評価される、請求項6から9のいずれかに記載の方法。

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Appl. No.  
PCT/US 96/15511

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 H01L21/66		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO,A,95 31003 (HITACHI LTD ;HAMAMURA YUICHI (JP); NAKAGAWA YASUO (JP); ITO FUMIK) 16 November 1995 see the whole document ---	1,3-5,8, 10-12
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 377 (P-922), 22 August 1989 & JP,A,01 131470 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP), 24 May 1989, see abstract ---	1,3,8,10
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 447 (E-685), 24 November 1988 & JP,A,63 174331 (TOSHIBA CORP), 18 July 1988, see abstract --- -/--	1,8
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 7 January 1997		Date of mailing of the international search report 23. 01. 97
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Palenstein 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Prohaska, G

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter- national Application No.

PCT/US 96/15511

C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 035 (E-1494), 19 January 1994 & JP,A,05 267421 (HITACHI LTD), 15 October 1993, see abstract ---	2,9
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 94, no. 012 & JP,A,06 338552 (SONY CORP), 6 December 1994, see abstract ---	1-14
A	GB,A,2 126 374 (NIPPON ELECTRIC CO) 21 March 1984 see figure 2 ---	1-14
A	IEEE TRANSACTIONS ON SEMICONDUCTOR MANUFACTURING, vol. 2, no. 2, May 1989, NEW YORK US, pages 60-65, XP000611780 C.K. CHOW: "Projection of Performance Distributions by Multivariate Statistics" see the whole document -----	1-14



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

information on patent family members

International Application No

PCT/US 96/15511

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO-A-9531003	16-11-95	JP-A- 7302826	14-11-95
GB-A-2126374	21-03-84	JP-B- 1042497	13-09-89
		JP-A- 58225640	27-12-83
		JP-C- 1583574	22-10-90
		JP-B- 2007178	15-02-90
		JP-A- 59029427	16-02-84
		US-A- 4571685	18-02-86



## Chen

[45] **Date of Patent:** Feb. 17, 1998

- |            |         |                  |
|------------|---------|------------------|
| 6338552    | 6/1994  | Japan .          |
| 2 126 374  | 3/1984  | United Kingdom . |
| WO95/31003 | 11/1995 | WIPO .           |

## OTHER PUBLICATIONS

- Schneider et al: ControlShell—A real-time software framework. *IEEE*, Jan. 1991.

- Root et al: Statistical circuit simulation with measurement-based active device models—Implications for process control and IC manufacturability, *IEEE*, Jan. 1995.

- Astin:** Creating a Mixed-signal simulation capability for concurrent IC design and test program development. *IEEE*, Aug. 1993.

- Chee K. Chow, Projection of Circuit Performance Distribution by Multivariate Statistics, May 1989, pp. 60-65. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing vol. 2 No. 2.**

- Primary Examiner**—Jacques Louis-Jacques  
**Attorney, Agent, or Firm**—Skjerven, Morrill, MacPherson,  
Franklin & Friel LLP; Ken J. Koestner

- [57]
- ABSTRACT**

- A statistical simulation of a semiconductor fabrication process is performed in parallel with the actual process. Input parameters derived from a probability density function are applied to the simulator which, in turn, simulates an actual fabrication process which is modeled as a probability density function. Each simulation step is repeated with a random seed value using a Monte Carlo technique, a trial-and-error method using repeated calculations to determine a best solution to a problem. The simulator generates an output in the form of a probability distribution. The statistical simulation uses single-step feedback in which a simulation run uses input parameters that are supplied or derived from actual in-line measured data. Output data generated by the simulator, both intermediate output structure data and WET data, are matched to actual in-line measured data in circumstances for which measured data is available. The probability density structure of the simulator is adjusted after each simulation step so that simulated data more closely matches in-line measured data.

- 20 Claims, 10 Drawing Sheets**

- ```

graph TD
    602[IMMULATION STATE] --> 604[IMMULATION TEST]
    604 --> 606[MARKING DEVICE]
    604 --> 608[GENERATE IMMULATED PROFILE]
    606 --> 608
    608 --> 610[REVERSE ENGINEER TO CONVERT]
    610 --> 612[REVERSE ENGINEER TO CONVERSION]
    612 --> 614[IMMULATED PROFILE]
    614 --> 616[GENEATE DEVICE IMMULATION PROFILE]
    616 --> 618[DEVICE PROFILE MATCHING]
    618 --> 620[REVERSE ENGINEER]
    620 --> 622[REVERSE ENGINEER]
    
```

## References Cited

## U.S. PATENT DOCUMENTS

|           |         |                    |            |
|-----------|---------|--------------------|------------|
| 4,827,395 | 5/1989  | Anders et al. .... | 364/468.15 |
| 4,887,218 | 12/1989 | Natarajan .....    | 364/468.08 |
| 4,901,242 | 2/1990  | Kotan .....        | 364/468.15 |
| 4,937,765 | 6/1990  | Shupe et al. ....  | 364/578    |
| 5,105,362 | 4/1992  | Kotani .....       | 364/468.28 |
| 5,111,404 | 5/1992  | Kotani .....       | 364/468.15 |
| 5,115,502 | 5/1992  | Tallman .....      | 395/500    |
| 5,301,118 | 4/1994  | Heck et al. ....   | 364/578    |
| 5,365,463 | 11/1994 | Donath et al. .... | 364/578    |
| 5,418,974 | 5/1995  | Craft et al. ....  | 364/578    |
| 5,495,417 | 2/1996  | Fuduka et al. .... | 364/468.28 |
| 5,539,652 | 7/1996  | Tegethoff .....    | 364/490    |

## FOREIGN PATENT DOCUMENTS

|           |         |         |
|-----------|---------|---------|
| 63-174331 | 7/1988  | Japan . |
| 1131470   | 5/1989  | Japan . |
| 5267421   | 10/1993 | Japan . |

